

電気自動車用直流直巻モータの動力性能

Power characteristics of a series winding DC motor for an electric vehicle

恩田 一*

Hajime ONDA

Abstract: Power characteristics of a series field winding direct current (DC) motor for an electric vehicle, is described. For our electric vehicle, DC series winding motor is used as an engine. DC series winding motor is suitable for vehicles that need large torque at low speed. The theoretical equations for the electrical model of the motor are set up. Unknown motor constants are decided by experiments and the equations are calculated to display the torque vs. speed characteristics. The resultant graphs show the typical characteristics of the DC series motor and useful for designing the controller. **Key word;** electric vehicle, DCmotor

1. はじめに

本学電気電子工学科では環境にやさしく電気・電子技術満載の電気自動車を学科のシンボルとし、対外的 PR 用に高校生の興味を引きそうなスポーツタイプの電気自動車を購入し、その名称を本学のシンボル「お理工ちゃん」からとって「お理工カー」とした(図1)。このモデル車に、各教員の専門分野からテーマ選定した研究項目技術を付加してさらにインテリジェント化し、その名のとおり「お理工(インテリジェント)カー」を完成させるプロジェクトを立ち上げ、活動中である。本報告は、そのプロジェクト活動の一環である。

この電気自動車の主動力源には直流直巻モータが使われている。本報告は、このモータの動力性能を解析・検討したもので、モータの基本特性式から動力性能(速度-トルク特性)を解析的に求め、数値計算によりグラフ化して実用に備えた。



図1 モデル電気自動車

2. 直流直巻モータの構造と理論特性

2.1 直流モータの界磁方式

一般にモータは界磁が作る磁束と電機子電流の相互作用で回転トルクを発生して回転する。界磁磁束の発生方法には下記の方式がある。

①永久磁石界磁方式

界磁磁束を永久磁石により発生させる方式で、近年永久磁石材料が非常に高性能化したため、小形で高トルクのモータが得られるようになった。発生トルクは電機子電流に正比例する。磁束を作るためのエネルギーが不要のため、高効率で、多くのモータに利用されるようになってきた。

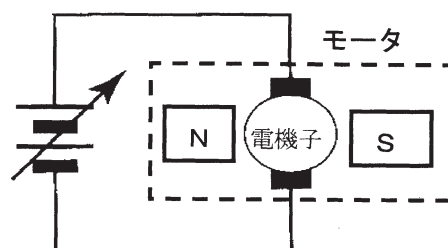


図2 永久磁石界磁モータ

②他励界磁方式

界磁磁束発生用の界磁巻線を、モータ印加電圧とは別の外部電源で励磁する方式で、電機子制御と界磁制御の両方が利用できる。界磁巻線は細い線を多数回巻く方式で、界磁電流は電機子電流より小さいのが一般的である。

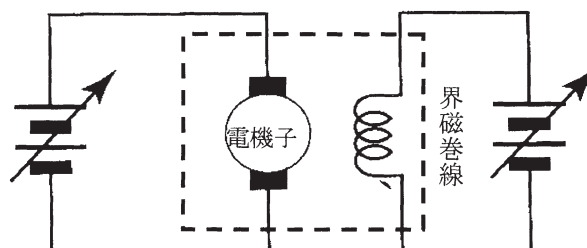


図3 他励界磁モータ

2009年2月19日受理

* 理工学部 電気電子工学科

③分巻界磁方式

界磁巻線が電機子に並列接続されている方式で、界磁電流は電機子端子電圧により決まってくる。負荷トルク変動に対する回転数変動が少ない特徴を有している。

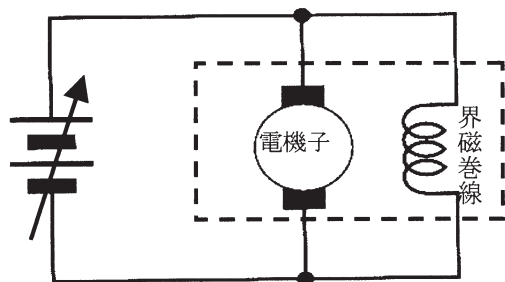


図4 分巻界磁モータ

④直巻界磁方式

界磁巻線が電機子と直列に接続されている方式で、界磁電流と電機子電流が同じである。そのため、発生トルクは電流の2乗に比例する。界磁巻線は電機子電流と同じ大電流を流すため、太い巻線で構成される。負荷変動に対する速度変化が非常に大きく、無負荷状態では非常に高速になるので注意が必要である。

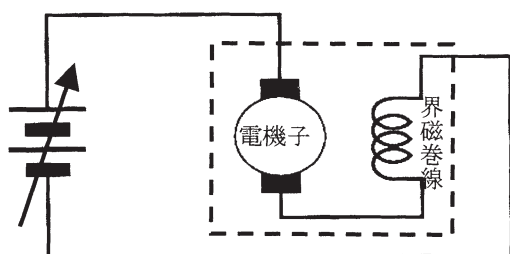


図5 直巻界磁モータ

⑤複巻界磁方式

分巻界磁巻線と直巻界磁巻線の両方を有する方式で、特性的には両者の中間的な特性となる。

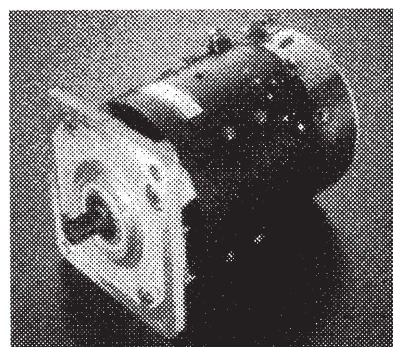
2.2 直流直巻モータ

対象となるモータは図6に示す直流直巻モータで、定格は72V、3.6kWである。ただし、小形特殊自動車用としての銘板には法規上の配慮から0.59kWとされている。

ここに使われている直流モータは、制御性能は優れているが回転部への電力供給に摺動型接触子であるブラシと整流子を利用しているために、保守性や寿命の点で問題がある。そのため、近年は交流モータが使われるようになってきている。図1のモデル車に直流モータが使われているのはスポーツタイプと言う点から制御性能を重視したか、あるいは交流モータ制御の複雑さを回避した結果と思われる。

直流直巻モータは低速時に大トルクを発生する特性を有しているために古くから電車等の、いわゆるピークルに利用されている。ピークルは始動時に加速のための大トルク

が必要で、高速で定速度になってしまえばあまりトルクを必要としない特性を有している。エンジン自動車では、エンジンは定トルク特性であるので、変速機がこの役割を果たしているが、直流直巻モータではモータ単体で、この必要なトルク-速度特性を有している。



直流直巻モータ
型式; HD-MR0
72V,
3.6 kW
3050 rpm

図6 対象直流直巻モータ

2.3 直流直巻モータの等価回路と理論特性

図7に直流直巻モータのモデル回路図を示す。界磁巻線が電機子巻線に直列接続されており、界磁電流と電機子電流が同じである。発生トルクは電機子電流と界磁磁束に比例するために、直流直巻モータでは発生トルクは電機子電流の2乗に比例することになる。

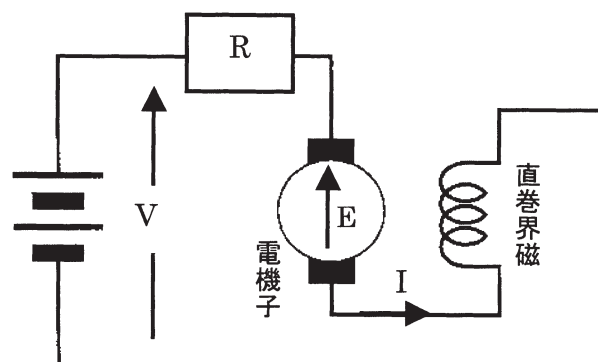


図7 直流直巻モータのモデル回路

モータへの印加電圧を V (V)、電流を I (A)、電機子と界磁巻線の抵抗を R (Ω)、モータの逆起電圧を E (V)、毎分の回転数を N (rpm)、発生トルクを T ($N \cdot m$) とすると下記の式が成り立つ。

$$V = E + I \times R \quad (1)$$

$$E = K_1 \times I \times N \quad (2)$$

$$T = K_2 \times I^2 \quad (3)$$

(2)式はモータの逆起電圧の式、(3)式は発生トルクの式である。(1)式、(2)式より次式が求まる。

$$V = K_1 \times I \times N + I \times R$$

$$= I(K_1 \times N + R) \quad (4)$$

$$I = \frac{V}{(K_1 \times N + R)} \quad (5)$$

(5)式を(3)式に代入すると

$$T = \frac{K_2 \times V^2}{(K_1 \times N + R)^2} \quad (6)$$

(6)式より、Rは定数であるので、電圧Vをパラメータとして、このモータの速度(回転数)対トルク特性を求めることが出来る。K₁およびK₂は実験により求めることが出来る。

2.4 実験による定数の決定

(1) 抵抗Rの測定

電機子および界磁巻線抵抗はオームの法則を用いた電圧降下法により求めることが出来る。逆起電力が発生しないようにモータを拘束しておいて直流電圧を印加し、電圧と電流から抵抗値を求める。実験結果のグラフを図8に示す。図8より、抵抗値Rは0.16 (Ω)と決定できる。

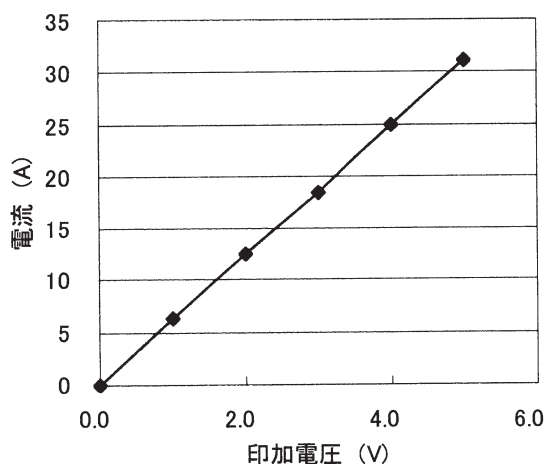


図8 電圧降下法による抵抗測定結果

(2) K₁ (誘起電圧定数) の測定

モータに直流電圧を印加し、回転状態で電圧V、電流I、回転数Nを測定すれば、(4)式よりK₁を求めることが出来る。モータ無負荷状態(軸受等のトルク損失で無負荷電流15(A))での実験結果を図9に示す。図9においては、(4)式から推定できる比例関係が確認できる。また、同図中には(4)式で種々のK₁を仮定した時の計算値で、実験値に最も良い近似を与えるK₁=1/4950の時の計算値も示した。これより、(2)式のK₁は1/4950と決定する。

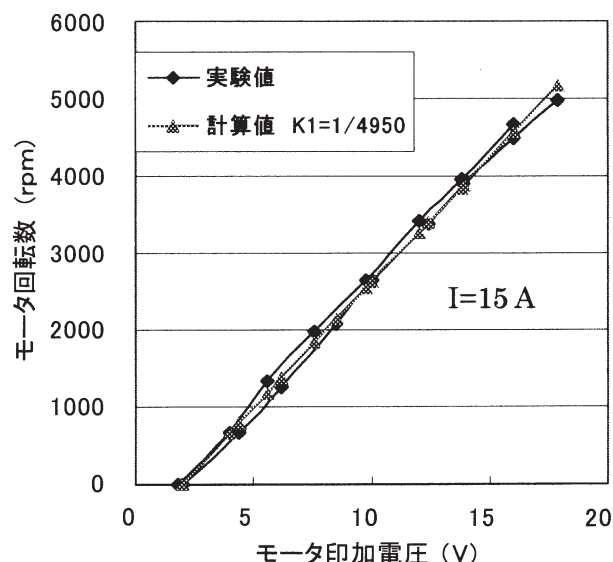


図9 電圧定数実験結果

(3) K₂ (トルク定数) の測定

モータを拘束状態で直流電圧を印加し、電流とトルクを測定すれば、(3)式よりK₂が求められる。トルクの測定は最も簡便な方法としてモータ軸からレバーを出し、この先端での力を測定し、レバー長と力の積から求めた。力の測定にはバネばかりを利用した。実験結果を図10に示す。(3)式が示す電流の2乗特性が確認できる。

同図中には(3)式でK₂を仮定した時の計算式として、実験値に最も良い近似を与えるK₂=0.0017の場合の計算値も示した。これより、(2)式のK₂は0.0017と決定する。

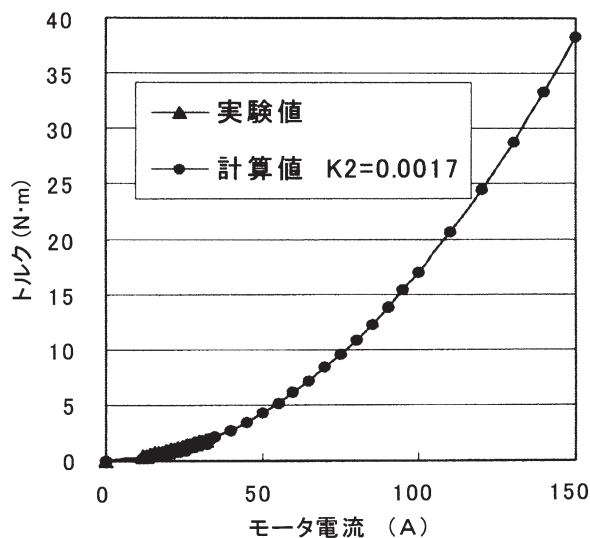


図10 トルク定数測定実験結果

3. 速度対トルク特性の計算

(1) 式から (6) 式の基本特性式における定数 R , K_1 および K_2 が求まったので, (6) 式よりトルク特性 (回転数 対トルク) を計算する. モータ印加電圧 V はパラメータとして取り扱う. 計算結果を図 11 に示す.

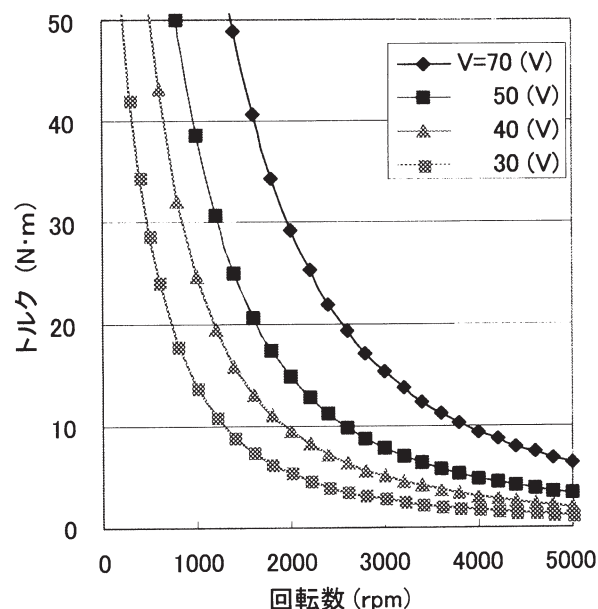


図 11 速度－トルク特性

(6) 式からも判るが, 直流直巻モータの発生トルクは回転数の 2 乗に反比例する特性を有することがグラフよりよく解かる. 起動時のように低回転数時には大トルクを発生する. また低電圧でも平地走行のように負荷トルクが軽ければ回転数はかなり上昇する. 逆に, 負荷トルクが大きくなると回転数は急激に低下する. このように, 直巻モータは負荷変動に対する回転数変動が激しく, それがビークル (電気車) の要求特性に一致していることから, この用途に広く使われる所以である.

図 11 のトルクに対応するモータ電流値は, 図 10 の特性から逆算することが出来る.

4. 電気自動車としての性能

これまでは原動機部であるモータ単体の動力性能を論じてきたが自動車としての動力性能について簡単に説明する. 原動機により駆動される車体系は, それが必要とする動力特性を有している. この負荷要求トルク特性は減速比, タイヤ径等の諸元と走行状態で決まり, 平地走行時や登坂走行時などに応じた動力特性がある.

図 12 は, 図 11 の原動機 (モータ) 側の動力性能に負荷 (車体) 側の要求動力特性を仮定して記入したものである. 一般に負荷の要求動力特性は回転数 (速度) と共に増大するが, 負荷の特性により比例的だったり, べき乗に比例する等の場合がある. 自動車の場合は比例的な特性になる.

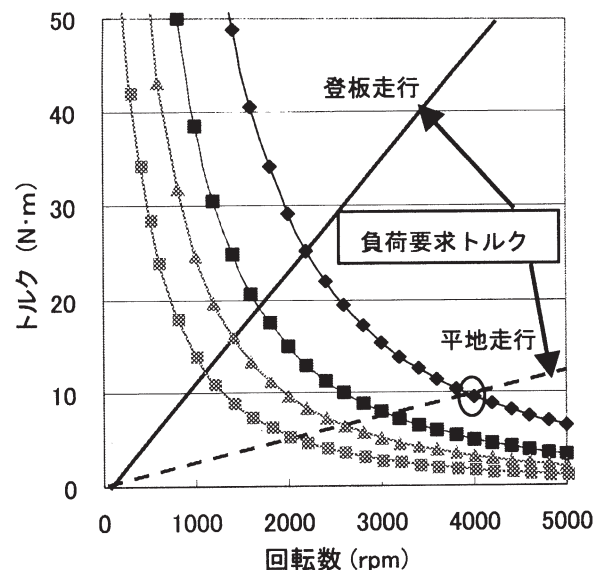


図 12 原動機と負荷の動力特性

図 12 において, 平地走行時には破線の要求性能になり, これと交差する原動機の特曲線上で釣り合って動作する. モータ電圧が 70 V で平地走行の場合は, $N = 4000$ (rpm), トルク = 10 (N·m) 付近 (○印) で動作することになる.

なお, 対象とする車の要求動力特性はまだ得られていないので, この項についての詳細は今後検討することになる.

5. まとめ

学科象徴物である電気自動車「お理工カー」用駆動モータの動力性能を計算した. 基礎的な実験から種々の定数を求め, 基本特性から動力性能としての速度 (回転数) 対トルク特性を計算により求めた. これにより, 電気自動車用原動機としてのモータの性能評価が可能となり, コントローラの設計に反映させることが出来る.

6. 今後の課題

車体側が必要な動力特性を得て, 車全体としての動力性能 (車速対トルク特性) を求める必要がある. また, ここで計算された値を実験によって確認することも必要であるが, これには動力計 (ダイナモメータ) が必要になる.

本研究は 2008 年度卒業研究として実施したものである. 担当した卒研生の大石哲也君, 児玉光功君の努力に感謝致します.

参考文献

- 1) 恩田 一; “マイコンによる電気自動車用モータ駆動システム”, 静岡理工科大学紀 Vol.16, P1-6 (2008 年)
- 2) ゼロススポーツ社; “エレクシード RS 整備解説書”
- 3) ゼロススポーツ社; “エレクシード RS カタログ”